

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

для проведення практичних занять і самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«СВІТЛОТЕХНІЧНІ УСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ»

*(для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2021**

Методичні рекомендації для проведення практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Світлотехнічні установки та системи» (для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Ю. О. Васильєва, О. М. Ляшенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 19 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Ю. О. Васильєва,
ст. викл. О. М. Ляшенко

Рецензент

А. С. Литвиненко, кандидат технічних наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла,
протокол № 4 від 27.12.2019.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Рекомендації для практичних занять.....	5
1.1 Послідовність операцій при розрахунку освітленості від симетричних елементів.....	5
1.2 Алгоритм розрахунку освітленості від лінії, що світить, у вертикальній площині.....	5
1.3 Алгоритм розрахунку освітленості з використанням кривих рівної відносної освітленості.....	6
1.4 Алгоритм розрахунку освітленості від поверхонь рівномірної яскравості, що світять.....	6
1.5 Методика розрахунку світлового потоку від точкового елемента, що світить, із симетричним розподілом сили світла на поверхню, перпендикулярну до його осі симетрії.....	6
1.6 Послідовність визначення світлового потоку, що падає на смугу нескінченної довжини.....	8
1.7 Послідовність розрахунку світлового потоку за методом тілесних кутів первинного використання.....	9
1.8 Розрахунок розподілу світлового потоку від світлової лінії.....	9
1.9 Метод зональних множників.....	10
2 Рекомендації для самостійної роботи.....	12
2.1 Приклад оцінки вартості технічного обслуговування.....	12
2.2 Приклад оцінювання інтервалів чищення світильника.....	13
Список рекомендованих джерел.....	15
Додатки.....	16

ВСТУП

Методичні рекомендації містять настанови для практичних занять і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Світлотехнічні установки та системи». Вони призначені для опанування наступними вміннями:

- користуватися нормативними документами при розробці світлотехнічних установок;
- розв'язувати задачі оптимізації параметрів ОУ;
- використовуючи знання технологій проектування та виробництва (застосування або експлуатації) світлотехнічних систем, розраховувати оптимальні параметри цих систем і обґрунтовувати їх проектні рішення;
- застосовувати комп'ютерні технології, сучасні програми для розробки проекту освітлення;
- застосовувати методи техніко – економічної і естетичної оцінки для вибору оптимального варіанту освітлення.

Виконання і захист звітів з лабораторних робіт разом з опрацюванням теоретичного матеріалу лекційного курсу забезпечує набуття наступних компетенцій:

- готовність виконувати розрахунок і проектування систем освітлення відповідно до технічного завдання з використанням засобів автоматизації проектування;
- здатність розробляти проектну і технічну документацію, оформляти закінчені проектно-конструкторські роботи;
- готовність здійснювати контроль відповідності проектів і технічної документації, що розробляються, стандартам, технічним умовам та іншим нормативним документам.

Знання, вміння і компетенції, набуті при вивченні дисципліни «Світлотехнічні установки та системи», є основою для вивчення дисципліни «Проектування, монтаж та експлуатація освітлювальних установок», а також при виконанні проектів світлотехнічних установок утилітарного освітлення.

1 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1.1 Послідовність операцій при розрахунку освітленості від симетричних елементів

1. Визначають тангенс кута падіння світлового променя в розрахункову точку:

$$\operatorname{tg} \alpha = d/h_p, \quad (1)$$

де d – відстань від розрахункової точки до проекції осі симетрії світильника на площину, яка перпендикулярна їй і проходить через розрахункову точку.

2. За знайденим тангенсом визначають кут α і $\cos^3 \alpha$.

3. За кривою сили світла заданого світильника знаходять силу світла I_α для знайденого кута α .

4. Підраховують освітленість горизонтальної, вертикальної або похилої площини.

1.2 Алгоритм розрахунку освітленості від лінії, що світить, у вертикальній площині

1. З креслення, що визначає положення лінії, що світить, відносно розрахункової точки, знаходимо кут ($\gamma = \operatorname{arctg}(a/h_p)$);

2. За кривими сили світла світильника визначаємо силу світильника з одиниці довжини лінії:

$$I_\gamma = \frac{(I_\gamma)_{1000}}{L} \cdot \frac{nF_n}{1000}, \quad (2)$$

де $(I_\gamma)_{1000}$ – сила світла світильника для $F_n = 1\,000$ Лм.

3. З креслення, що визначає положення лінії, що світить, відносно розрахункової точки, знаходимо кут ($\varphi = \operatorname{arctg}(L/l)$);

4. Користуючись рівнянням (3) визначаємо освітленість у розрахунковій точці:

$$E_A = \frac{I_\gamma \cos^2 \gamma}{2h_p} \cos^2 \gamma \left(\varphi + \frac{\sin 2\varphi}{2} \right), \quad (3)$$

де I_γ – сила світла з одиниці довжини лінії, що світить, у поперечній площині;

φ – кут, під яким видна лінія, що світить, з точки розрахунку;

h_p – висота розташування лінії, що світить, над освітлюваною поверхнею.

1.3 Алгоритм розрахунку освітленості з використанням кривих рівної відносної освітленості

Розрахунок освітленості з використанням кривих рівної відносної освітленості виконують у такій послідовності:

1) із креслення, що визначає положення світлової лінії відносно точки розрахунку, знаходимо відносні координати:

$$p' = \frac{a}{h_p} \quad L' = \frac{n(L + \lambda)}{h_p};$$

2) за кривими відносної освітленості визначаємо ε для знайдених p' і L' ;

3) за $E = \frac{F_{\lambda}}{h_p(L + \lambda)1000} \varepsilon$ знаходимо освітленість горизонтальної площини.

1.4 Алгоритм розрахунку освітленості від поверхонь рівномірної яскравості, що світять

1. З креслення, що визначає положення прямокутника, що світить, відносно розрахункової точки, знаходимо відносні координати $P_2 = b/m$ і $P_1 = a/m$;

2. За номограмою $e=f(P_1, P_2)$ визначаємо коефіцієнт освітленості e ;

3. За $E_A = \pi L_e = M_e$ заданої світності визначаємо освітленість; (e -коефіцієнт освітленості в розрахунковій точці, створюваній розрахунковою поверхнею).

1.5 Методика розрахунку світлового потоку від точкового елемента, що світить, із симетричним розподілом сили світла на поверхню, перпендикулярну до його осі симетрії

1. Світлорозподіл світильника характеризується залежністю $I_0=f(\alpha)$;

2. Розіб'ємо весь простір, що оточує розглянутий світильник, на зональні тілесні кути, які мають загальну ось, що збігається з віссю симетрії точкового елемента, що світить, і рівні світлові потоки, що укладають у собі тілесні кути утворені обертанням плоских кутів (рис. 2.1);

3. За відомою залежністю $I_0=f(\alpha)$ побудуємо рис. 2 – криву наростаючих зональних світлових потоків $\Sigma F_a = f(\alpha)$. Визначаємо α і радіуси кільцевих зон на розрахунковій площині $r_i = htg\alpha_i$;

4. Розбиваємо кожну з кільцевих зон сімейством радіальних прямих, що являють собою сліди площин, які проходять через ось симетрії світильника і зміщені одна відносно одної на постійний кут.

Кожен елемент розрахункової сітки буде вміщувати в собі світловий потік, рівний

$$\Delta F = \frac{(F_{cb})_{0-90}}{mn}, \quad (4)$$

де $(F_{cb})_{0-90}$ – світловий потік світильника в зоні 0–90°;

n – число кутових зон, на яке розбитий простір, що оточує світильник;

m – число площин перерізів.

Наклавши розрахункову сітку на план приміщення так, щоб її полюс був сполучений з проекцією світильника на плані (рис. 3), і підрахувавши число елементів сітки N , що знаходяться всередині контура, обмеженого стінами приміщення, визначаємо величину світлового потоку, що падає на розрахункову площину:

$$F'_p = N \frac{(F_{cb})_{0-90}}{mn}; \quad (5)$$

$$F_\Sigma = \sum_{i=1}^K F_i. \quad (6)$$

Аналогічно може бути підрахований світловий потік, що падає від світильника на стелю. Розрахункова сітка для цього випадку повинна бути побудована за кривою сили світла світильника для верхньої півсфери навколишнього простору й у масштабі відстані h_0 від світильника до стелі приміщення:

$$F'_{\text{потолка}} = N_1 \frac{(F_{cb})_{90-180}}{mn}, \quad (7)$$

де N_1 – число елементів розрахункової сітки, що укладаються в межах контуру стелі;

$(F_{cb})_{90-180}$ – світловий потік світильника в зоні 90–180°.

Знайдені F'_p і F'_n дозволяють визначити світловий потік, що падає на стіни приміщення:

$$F'_c = F_{\text{повний світловий потік}} - (F'_n + F'_p). \quad (8)$$

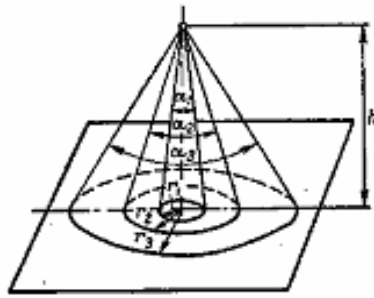


Рисунок 1 – До розрахунку світлового потоку функції a

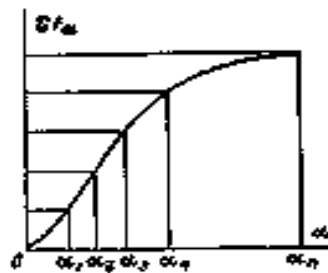


Рисунок 2 – Графік зростаючих від точкового елемента, що світить, із симетричним світлорозподілом

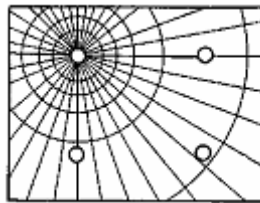


Рисунок 3 – Визначення світлового потоку накладенням розрахункової сітки

1.6 Послідовність визначення світлового потоку, що падає на смугу нескінченної довжини

1. Розбиваємо розрахункову площину на ділянки так, щоб проекція осі світильника збігалася з одним з кутів кожної з таких ділянок (рис. 4);

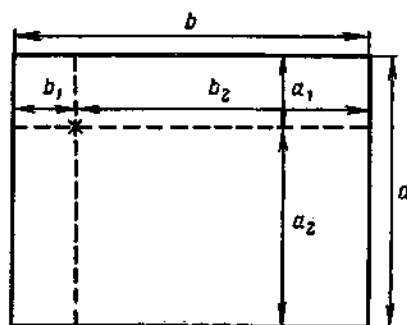


Рисунок 4 – Розбиття приміщення на ділянки

2. З креслення, що визначає розташування світильника відносно розрахункової площини, знаходимо координати a/h і b/h ;

3. За знайденими координатами a/h і b/h , користуючись графіком на $k_\varepsilon = f(\frac{a}{h})$, знаходимо коефіцієнти $(K_\alpha)_a$ і $(K_\alpha)_b$;

4. За кривою сили світла світильника розраховуємо зональні світлові потоки для 10-градусних зон оточуючого світильник простору;

5. За $(\Delta F_\alpha)_a = 0.5 \Delta F_\alpha (K_\alpha)_a$ визначаємо зональні й повний світловий потоки, що падають від світильника на розглянуту ділянку;

6. Знайшовши аналогічно світловий потік, що падає на інші три ділянки розрахункової площини, і додаючи їх, визначаємо потік, що падає на розрахункову площину.

1.7 Послідовність розрахунку світлового потоку за методом тілесних кутів первинного використання

1) визначаємо відносну сторону квадрата, еквівалентного заданій прямокутній розрахунковій площині $a_e = \frac{2ab}{a+b}$;

2) знаходимо значення тілесних кутів первинного використання для кожної 10-градусної зони;

3) за знайденим значенням тілесних кутів первинного використання ω_a і значенням сили світла світильника для середини кожної зони I_a знаходимо зональні світлові потоки, що падають на розрахункову площину або стелю;

4) підсумовуючи добуток $I_a \omega_a$ в необхідних межах, визначаємо світлові потоки, що падають на розрахункову площину (F_p') і потік (F_n') .

1.8 Розрахунок розподілу світлового потоку від світлової лінії

Для визначення світлового потоку, що падає від світлової лінії на горизонтальну площину, паралельну її осі:

1) розіб'ємо простір, що оточує лінію, яка світить, на рівні двогранні кути γ . Світловий потік світної лінії, що лежить у межах кута γ , позначимо через F_γ ;

2) нехай потік, що падає на одну зі стін, перпендикулярну до осі лінії, що світить – F_γ ;

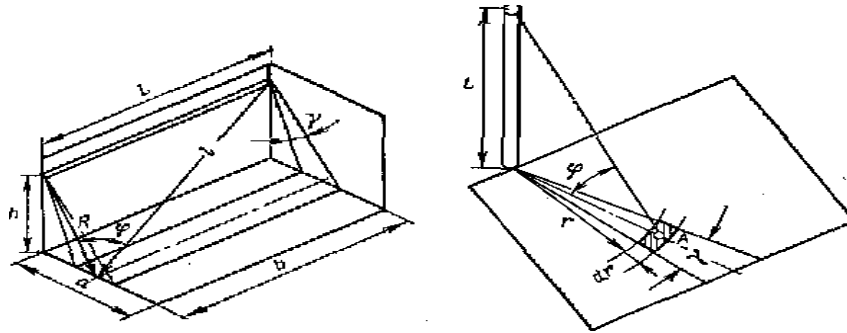
3) частка потоку лінії, що світить, падаючого на розрахункову площину

$$K_i = \frac{(F_\gamma)_i - 2(F_\gamma')_i}{(F_\gamma)_i} = 1 - \frac{2(F_\gamma')_i}{(F_\gamma)_i}; \quad (9)$$

4) світловий потік, що падає на всю розрахункову площину

$$F_{ab} = \sum_{i=1}^n (F_{\gamma}) K_i \quad (10)$$

де n – число двограних кутів γ , обмежених шириною a розрахункової площини.



Рисунок– Розташування світлової лінії відносно розрахункової поверхні

1.9 Метод зональних множників

Порядок розрахунку світлового потоку, що падає на розрахункову площину, за методом Ейнхарта зводиться до наступного:

1) розраховуємо відносні розміри приміщення a/h і b/h і, користуючись табличними значеннями ($K_{\gamma} = f(a/h)\gamma = const; K_{\varphi} = f(b/h)\gamma = const$), визначають K_{γ} і K_{φ} ;

2) за
$$dF_{\gamma}''' = \frac{I_{\gamma}}{2} \gamma \frac{L^2 dr}{L^2 + r^2}, \quad (11)$$

або

$$F_{\gamma} = \frac{I_{\gamma} L \pi \gamma}{2}, \quad (12)$$

або

$$2) F_{\gamma} = \frac{4}{3} \gamma I_{\gamma} L, \quad (13)$$

розраховуємо зональний світловий потік F_{γ} ;

3) визначаємо світловий потік лінії, що світить, який падає на розрахункову площину

$$F_{ab} = 2n \sum_{\gamma=0}^{\gamma=\gamma_a} \Delta F_{\gamma} K_{\gamma} K_{\varphi}, \quad (14)$$

де n – число ліній, що світять, у приміщенні;

ΔF_{γ} – світловий потік світильників у межах 10-градусного двогранного кута;

K_{γ}, K_{ϕ} – зональні множники.

Точність тут у межах 10–15 % за умови, що відстань між рядами світильників L/h у приміщенні складає 1,0–1,5 і відповідно відстань від крайнього ряду світильників до стін має половину відстані між рядами.

2 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Приклад оцінки вартості технічного обслуговування

Об'єкт – фабрика складання телевізійних приймачів на околиці великого міста

Розмір – велика відкрита площа, що має нормальне середовище.

Оздоблення – 70/30/20 % відбиття стель/стін/підлоги відповідно.

Система освітлення – рефлектор з верхніми щілястими білими відбивачами з використанням люмінесцентних ламп з три смуговим люмінофором.

Умови функціонування:

Тривалість горіння – 4 000 год на рік із замінами окремих ламп, які вийшли з ладу.

План обслуговування – чищення світильників та оновлення ламп кожні два роки.

Таблиці 3.2 – $LLMF=0,90$ для 8000 год проміжку часу між замінами ламп – $LSF=1,0$ (якщо застосовуються окремі заміни).

Таблиці 3.4 – $LLMF=0,80$ для одного чищення світильників категорії В за 2 роки.

Таблиці 3.6 – $RSMF=0,93$ для одного чищення поверхонь за 6 років – $MF=0,90 \cdot 1,00 \cdot 0,80 \cdot 0,96 = 0,669 = 0,67$.

Якщо чищення світильників проводиться щорічно, то $LMF=0,90 \cdot 1,00 \cdot 0,80 \cdot 0,93 = 0,72$.

Це робить установку на 7 % ефективнішою. Це дасть більш 7 % економії для освітлювальної установки.

Примітка 1. Для досягнення встановленої освітленості можуть розглядатися різні графіки обслуговування та відповідні коефіцієнти, а за даними. Значення всіх коефіцієнтів є початково пов'язаними з умовами обслуговування.

Примітка 2. Є загальною практикою проводити заміну ламп і чищення одночасно, але чищення ламп і світильників між повними замінами може бути корисним в забруднених оточеннях часу між замінами ламп.

Примітка 3. Коефіцієнт збереження світла світильника (КЗСС) та коефіцієнт збереження відбиваності поверхонь приміщення (КЗВП) є непов'язаними з тривалістю (кількістю годин) горіння ламп.

2.2 Приклад оцінювання інтервалів чищення світильника

У складі системи освітлення – заглиблений світильник з низькоякісним відбивачем, розмірами 1200 мм × 300 мм, з використанням 2-х люмінесцентних ламп Т8 довжиною 1200 мм, з номінальним значенням потужності 36 Вт, з функціонуванням з високочастотним баластом (Повна потужність світильника 72 Вт).

Установлений світильник:

Вартість – 100.

Строк служби світильника – 10 років.

Вартість лампи – 10 на світильник.

Вартість чищення – 3 на світильник.

Заміна ламп – 0,5 на світильник.

Потужність світильника – 72 Вт (коло).

Кількість годин горіння ламп на рік – 3 000.

Інтервал заміни ламп – 3 роки.

Тариф на електроенергію – 0,05 (Це, в разі застосування, може враховуватися як максимально потрібна вартість).

Коефіцієнт зносу світильника категорії В у звичайному середовищі за [5] – 0,14.

Примітка. Всі вартості надаються у відносних одиницях. Важливо використовувати реальні вартості, що ґрунтуються на місцевих умовах.

Вартість одноразового чищення світильника становить $C_c=3$.

Вартість придбання та експлуатації за рік позначається як C_a .

Цим враховуються вартість енергії, амортизаційні кошти щодо монтування в розрахунку на рік (з урахуванням відсотку капітальних внесків) і вартість повної заміни ламп в розрахунках на рік.

Вартості в розрахунку на рік становлять:

$$\text{– електроенергії } \frac{72 \cdot 300 \cdot 0,5}{1000} = 10,8;$$

$$\text{– монтування } \frac{100}{10} = 10;$$

$$\text{– заміни ламп } \frac{10+0,5}{3} = 3,5.$$

$$\text{Отже, } C_a = 10,8 + 10 + 3,5 = 24,3 \text{ грн.}$$

Оптимізований інтервал чищення T знаходиться за формулою:

$$T = \frac{-C_{\epsilon}}{C_a} + \sqrt{\frac{2 \cdot C_{\epsilon}}{\Delta C_a}}$$

$$T = \frac{-3}{24,3} + \sqrt{\frac{2 \cdot 3}{24,3 \cdot 0,14}} = -0,123 + 1,328 = 1,2 \text{ років}$$

Ці світильники треба чистити не рідкіше ніж з 14-місячними інтервалами. На практиці річне чищення має здійснюватися із заміною ламп після трьох років.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мешков В. В. Осветительные установки : учеб. пособие для ВУЗов / В. В. Мешков, М. М. Епанешников. – М. : Энергия, 1972. – 360 с.
2. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю. Б. Айзенберга. – [3-е изд. перераб. и доп.]. – М. : Знак, 2006 – 972 с.
3. Кнорринг Г. М. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Г. М. Кнорринг, Н. М. Фадин, В. Н. Сидоров. – СПб. : Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
4. ДБН В.2.5–28–2018. Природне і штучне освітлення. Чинний від 01.03.2019. – Київ : Мінбуд України, 2018.
5. ДСТУ СІЕ 97:2017. (СІЕ 97:2005, IDТ). Настанова щодо технічного обслуговування систем внутрішнього електричного освітлення. Чинний від 03.01.2018. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 60 с.

ДОДАТКИ

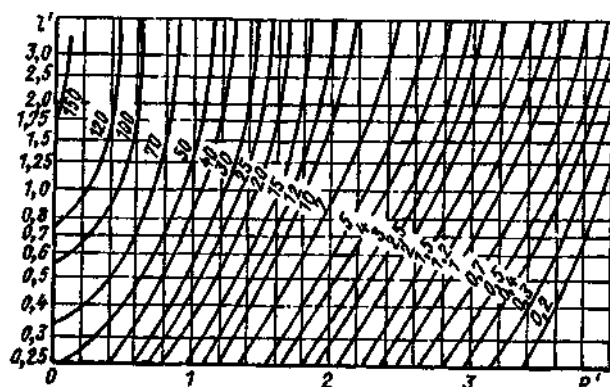
ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Значення тілесних кутів первинного використання для розрахунку розподілу світлових потоків ОУ при застосуванні методу Дубінкіна

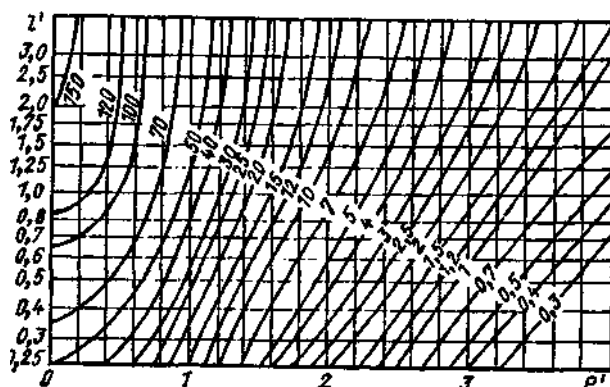
Тілесні кути первинного використання												
$\alpha_{\text{ср}}$	$a_{\text{екв}}$											Зональний коефіцієнт світлового потоку
	0,5	0,75	1,00	1,25	2,50	3,75	5,00	6,25	7,50	8,75	10,0	
5												0,095
15	0,140											0,283
25	–	0,114	0,382									0,463
35	–	–	0,04	0,293	0,460	0,516	0,544	0,561	0,572	0,580	0,586	0,628
45	–	–	–	0,002	0,360	0,492	0,560	0,602	0,630	0,650	0,666	0,774
55	–	–	–	–	0,354	0,514	0,602	0,647	0,695	0,723	0,744	0,897
65	–	–	–	–	0,122	0,303	0,501	0,591	0,653	0,698	0,733	0,993
75	–	–	–	–	–	0,081	0,224	0,359	0,458	0,533	0,597	1,058
85	–	–	–	–	–	–	–	0,001	0,018	0,066	0,116	1,091
95	–	–	–	–	0,139	0,256	0,325	0,416	0,506	0,576	0,635	1,091
105	–	–	–	0,091	0,536	0,703	0,789	0,832	0,876	0,902	0,921	1,058
115	–	0,067	0,565	0,926								0,993
125	0,049	0,747										0,897
135	0,575											0,774
145												0,628
155												0,463
165												0,283
175												0,095

Примітка: $a_{\text{екв}}$ – сторона еквівалентного квадрату, яка визначається як $a_{\text{екв}} = \frac{2ab}{h_p(a+b)}$.

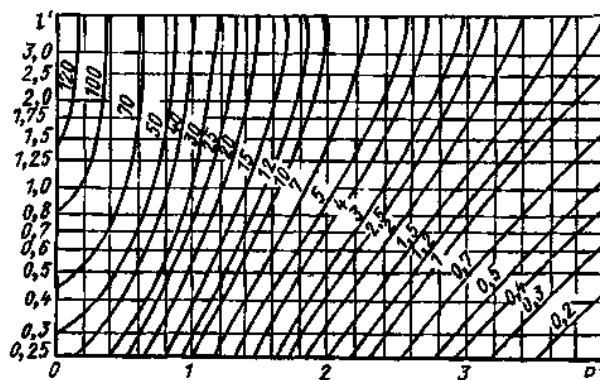
ДОДАТОК Б



а



б



в

Рисунок Б.1 – Криві рівної освітленості для світильників з різними типами кривих сил світла (КСС): а – для світильників з КСС типу М;
 б – для світильників з КСС типу Д-1;
 в – для світильників з КСС типу Г

ДОДАТОК В

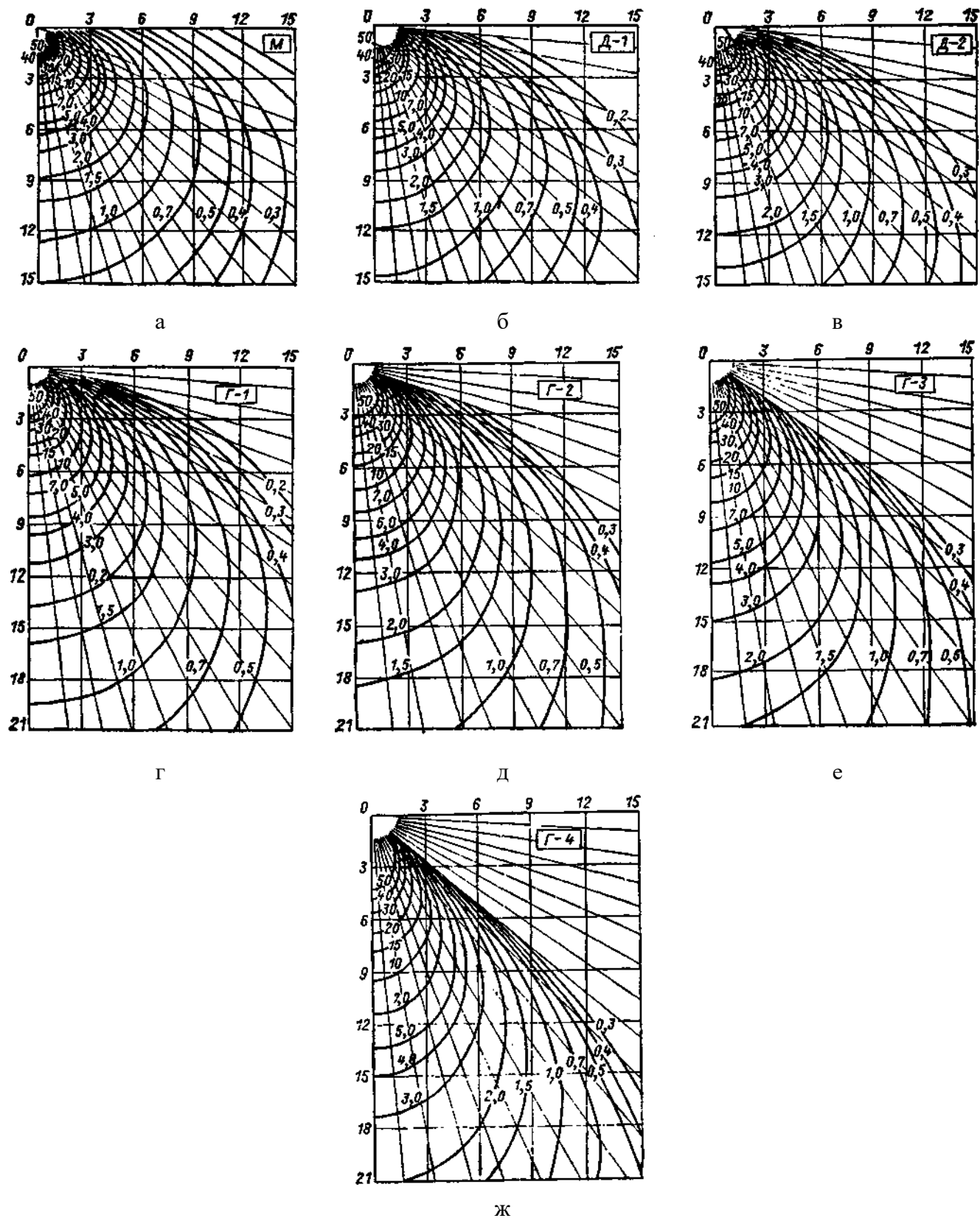


Рисунок В.1 – Просторові криві умовної горизонтальної освітленості для світильників з типами КСС:

а – М; б – Д1; в – Д2; г – Г1; д – Г2; е – Г3; ж – Г4

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
для проведення практичних занять і самостійної роботи
з навчальної дисципліни

«СВІТЛОТЕХНІЧНІ УСТАНОВКИ ТА СИСТЕМИ»

*(для студентів денної і заочної форм навчання першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі : **ВАСИЛЬЄВА** Юлія Олегівна,
ЛЯШЕНКО Олена Миколаївна

Відповідальний за випуск *Ю. О. Васильєва*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *О. Г. Ткаченко*

План 2018, поз. 267 М

Підп. до друку 21.02.2020. Формат 60 x 84/16.
Електронне видання. Ум. друк. арк. 1,1.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.